

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 61-249004

(43)Date of publication of application : 06.11.1986

(51)Int.Cl.

G02B 6/12

G02B 6/28

(21)Application number : 60-090269

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 26.04.1985

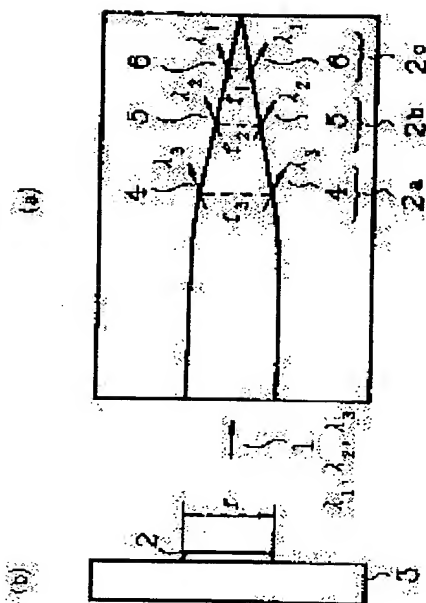
(72)Inventor : IMOTO KATSUYUKI  
TANAKA KATSUKI  
MAEDA MINORU  
INOUE HIROAKI  
MATSUMURA HIROYOSHI

## (54) OPTICAL MULTIPLEXER AND DEMULTIPLEXER

## (57)Abstract:

PURPOSE: To form an optical multiplexer and demultiplexer of the light module integrated with light emitting elements and photodetectors with simple constitution by providing the elements which receive and emit the light signal leaking under the cut-off condition of a propagation mode onto a tapered optical waveguide.

CONSTITUTION: The tapered optical waveguide 2 having the refractive index larger than the refractive index of a substrate 3 is formed on the substrate and the width (f) of the waveguide 2 is selected at the value to guide the light when the light signal of wavelengths  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  is made incident to the waveguide. The light signal of the wavelength  $\lambda_1$  is made into the leak mode in the part 2a and is radiated from the waveguide; similarly the light of the waveguides  $\lambda_2, \lambda_3$  are successively demultiplexed in the parts 2b, 2c. The waveguide acts therefore as the optical demultiplexer when the photodetectors are disposed in the parts 2a, 2b, 2c and the waveguide acts as the optical multiplexer and demultiplexer when the light emitting elements are provided thereto in conjunction with the optical multiplexer. The monolithic constitution of the optical multiplexer and demultiplexer with single chip is thus made possible, by which the simpler and more economical constitution thereof is made possible. Since there are no adjusting points, the considerable reduction of the cost is attained by mass production.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

昭61-249004

⑮ Int. Cl.<sup>4</sup>

G 02 B 6/12  
6/28

識別記号

庁内整理番号

8507-2H  
Z-8106-2H

⑬ 公開 昭和61年(1986)11月6日

審査請求 未請求 発明の数 2 (全8頁)

⑭ 発明の名称 光合分波器

⑰ 特 願 昭60-90269

⑱ 出 願 昭60(1985)4月26日

⑲ 発 明 者 井 本 克 之 国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内

⑲ 発 明 者 田 中 捷 樹 国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内

⑲ 発 明 者 前 田 稔 国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内

⑲ 発 明 者 井 上 宏 明 国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内

⑲ 出 願 人 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地

⑲ 代 理 人 弁理士 磯村 雅俊  
最終頁に続く

明 細 書

1. 発明の名称 光合分波器

2. 特許請求の範囲

(1) テーバ状に幅を徐々に細くした形状の光導波路と、該光導波路上に複数の波長の異なる光信号を伝搬させ、テーバ部での伝搬モードのカットオフ条件により該光導波路から漏洩した光信号をそれぞれ受光する複数の受光素子または該受光素子の全部ないし一部が置替えられた半導体発光素子とを具備することを特徴とする光合分波器。

(2) 放物線、直線あるいはホーン状に幅を細くし、さらに部分的に曲げを加え、あるいは厚みを部分的に変化させるか、厚み方向に屈折率を分布させた形状の組合せからなるテーバ状の光導波路と、該光導波路上に複数の波長の異なる光信号を伝搬させ、テーバ部での伝搬モードのカットオフ条件により該光導波路から漏洩した光信号をそれぞれ受光する複数の受光素子または該受光素子の全部ないし一部が置替えられた半導体発光素子

とを具備することを特徴とする光合分波器。

(3) 上記光導波路から光信号が漏洩する位置には、テーバ状光導波路に接近して別の光導波路を設けたことを特徴とする特許請求の範囲第2項記載の光合分波器。

(4) 上記光導波路から光信号が漏洩する位置には、テーバ状光導波路に接近してレンズを設けたことを特徴とする特許請求の範囲第2項記載の光合分波器。

(5) 上記光導波路には、光分波器、光合波器、光分合波器、半導体発光素子/受光素子、光スイッチ、あるいは電気回路を集積化して、構成することを特徴とする特許請求の範囲第2項記載の光合分波器。

3. 発明の詳細な説明

(発明の利用分野)

本発明は、光合分波器に関し、特に光ファイバ通信の光波長多重伝送に用いられる光合波器、光分波器、および光合分波器等の光学デバイスと、それらのデバイスに半導体発光/受光素子等を一

体化した光モジュールに関するものである。

#### 〔発明の背景〕

光ファイバの伝送特性で重要な要素は、伝送損失と周波数帯域であり、発光素子の種類によつては、ファイバとの結合特性も重要となる。光情報伝送、光制御、光計測等の比較的短距離に用いられる場合には、伝送損失よりも発光素子との結合が問題となるため、できるだけ開口数 (NA) の大きな光ファイバ、例えば多モードファイバが有利である。一方、長波長帯光ファイバは、低損失、広帯域の特長を持つので、長距離大容量伝送が実現でき、中継器の減少による信頼性、経済性、保守性の向上も期待できる。特に、広帯域ファイバとして、モード分散のない単一モードファイバが注目されている。単一モードファイバ伝送は、将来の光ファイバ通信の究極的形態であつて、光ファイバ通信における光波長多重伝送が経済化、サービスの拡張化を計るための重要な技術である。すなわち、1本の光伝送路中に複数の信号光を伝搬させる光波長多重伝送は、伝送量の増大だけで

なく、システム構成の自由度、柔軟性の向上を通じて、光通信の適用領域の拡大を計る上で重要な方法と考えられている。また、光波長多重伝送において、光合分波器は必須のデバイスとなる。

従来の光分波器には、干渉膜フィルタを用いる構成、回折格子を用いる構成、プリズムを用いる構成等が検討されている (柳井久義著「光通信ハンドブック」朝倉書店発行、1982年9月1日、P. 324~331参照)。干渉膜フィルタを用いるものは、4分の1波長や2分の1波長に近い光学的厚さの高/低屈折率誘電体膜を積層した干渉フィルタ膜の波長選択性を利用して、光分波器を実現している。しかし、この型の光分波器では、チャネル数の増加に対してフィルタ数を増加させる必要があり、そのためにチャネル数の増加に伴つて挿入損失が増加する傾向にある。また、回折格子を用いるものとしては、特定の次数に回折光を集中させるブレース回折格子が用いられている。この型の光分波器では、かなりの多重度までチャネル数の増加に対する損失増加が殆んどないので、

比較的チャネル数の大きい光分波回路に通ずる。また、プリズムを用いるものは、回折格子を用いる前の初期段階に使用されており、これも、回折格子を用いるものと同じく、角度分散型の光分波器である。しかし、これらの光合分波器は、個別部品の組合せによるハイブリッド構成のため、構造が複雑で、部品点数が多く、組立て加工、光軸調整に時間がかかり、そのために低コスト化、小形化は不可能であつて、量産性、信頼性ともに極めて悪い。このような問題点があるため、光通信システムの適用領域拡大は困難となっている。

#### 〔発明の目的〕

本発明の目的は、このような従来の問題点を解決し、従来より簡単化、経済化が可能な光分波器、光合波器、光合分波器、および半導体発光/受光素子等を一体化した光モジュール等の光合分波器を提供することにある。

#### 〔発明の概要〕

上記目的を達成するため、本発明の光合分波器は、テーパ状に幅を徐々に細くした形状の光導波路と、該光導波路上に複数の波長の異なる光信号

を伝搬させ、テーパ部での伝搬モードのカットオフ条件により該光導波路から漏洩した光信号をそれぞれ受光する複数の受光素子または該受光素子の全部ないし一部が置換えられた半導体発光素子とを具備することに特徴がある。

#### 〔発明の実施例〕

以下、本発明の実施例を図面により説明する。

第9図は、光ファイバ中の光の伝搬の原理を示す図である。光ファイバの中心部であるコア2の屈折率を $n_1$ 、その外側のクラッド9の屈折率を $n_2$ とすると、コア2から光がクラッド9に角度 $\theta_1$ で入射したとき、光がクラッド9に角度 $\theta_2$ で透過した場合、それらの屈折角の間にはスネルの法則により、次の関係が成立つ。

$$\frac{\cos \theta_1}{\cos \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad \dots \dots (1)$$

いま、 $n_1 > n_2$ の場合、 $\theta_1 > \theta_2$ であり、角度 $\theta_1$ を小さくしていくと、 $\theta_2$ が0になって全反射する。光の全反射で表わされた導波の現象を、光のもう1つの性質である波動と結び付けるためには、モードと呼ばれる特定の光の組で表わ

すのが便利である。すなわち、コア2内で境界と角度 $\theta_1$ をもつて進む光は、真空中での波長を $\lambda$ とすると、伝搬定数 $k_0$ は次式で表わされる。

$$k_0 = \frac{2\pi}{\lambda} \dots \dots \dots (2)$$

この値は、コア2内では、屈折率が $n_1$ であるために、波長が $\lambda/n_1$ と短くなり、伝搬定数は逆に $k_0 n_1$ と大きくなる。横方向に進む平面波の伝搬定数の成分を $\gamma$ とすると、 $\gamma = (k_0 n_1) \sin \theta$ となる。光の強さの横方向の分布は、軸に沿った方向では変わらない。この形態をモードといい、光と境界面との角が特別の値のときのみ形成される。導波路の横方向における1周期の位相変化は、コア2の幅を $2a$ とすると、 $\lambda \times 2a \times 2$ と、さらに上下の境界面で2回全反射されるときにうける位相変化 $-2\phi$ との和 $\Delta\phi$ で表わされる。もし、位相変化量 $\Delta\phi$ が $2\pi$ の整数倍、例えば $N$ 倍になっているときには、すべての多重反射される波は同じ位置で重なるので、1種の定在波となる。 $N=1, 2, 3, \dots$ に対応する

を、順次にカットオフ条件により漏洩させる。漏洩する光導波路の部分に受光素子を順次配置させておけば、光分波器を構成することができる。また、上記受光素子の代りに、波長が $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ からなる $n$ 個の半導体発光素子を配置すれば、光合波器を構成できる。さらに、半導体発光素子と受光素子とを混在させれば、光合分波器を構成できる。なお、テーパ状光導波路の形状分布としては、第10図(a)の放物線分布型テーパ状光導波路、第10図(b)の直線状傾斜分布型テーパ光導波路、第10図(c)のホーン型テーパ状光導波路、等を用いることができる。また、波長 $\lambda_n$ でカットオフモードとなるための光導波路の幅(または厚み) $f_n$ は、次式を満足するように選択する。

$$f_n = \frac{\lambda_n}{4} \frac{1}{\sqrt{n_F^2 - n_C^2}} \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 $n_F$ は光導波路の屈折率、 $n_C$ は上記光導波路を囲むクラッドの屈折率である。

第1図は、本発明の第1の実施例を示す光導波

路の重ね合せにより光強度の強弱ができる模様を示すが、 $N$ の値を大きくしていくと、角度 $\theta$ も大きくなり、全反射の条件を満足する $N$ に達する。この値を $N_{MAX}$ とすると、これ以上の $N$ に対しては全反射が起らず、光はクラッド9に抜け出てしまう。導波モードの数の最大値 $N_{MAX}$ 以上の角度を持つモードは伝搬できないので、カットオフになっているという。

本発明の光合分波器は、光導波路のカットオフ特性を利用して、光を分波、あるいは合波したものであり、光導波路、例えば埋込み形、拡散形、装荷形、リッジ形、盛上げ形等の3次元光導波路に、光分波素子、光合波素子、あるいは光合分波素子を構成したものである。さらに、この光導波路上に半導体発光素子(半導体レーザ、発光ダイオード等)や受光素子、光変調素子、光スイッチ等の機能素子も一体化したものである。

具体的には、光導波路をテーパ状に徐々に細くすることによつて、波長 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  ( $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_n$ )の光

路のカットオフ特性を利用した光分波素子の構成図である。第1図(a)は上面図であり、第1図(b)は左側面図である。基板3(例えば、GaAlAs, LiNbO<sub>3</sub>, ガラス, 高分子重合体等の材質、屈折率 $n_S$ )上にテーパ状の光導波路2(屈折率 $n_F$ , ただし、 $n_F > n_S$ )が形成されている。ここでは、テーパ状光導波路2は、放物線分布型をしている。いま、矢印1側から波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ (ただし、 $\lambda_3 > \lambda_2 > \lambda_1$ )の光信号が光導波路2に入射した場合を考える。光導波路の幅 $f$ は、上記 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ の波長の光が導波する値に選ばれている。2aの部分の光導波路の幅 $f_3$ は、次式を満足するように設定される。

$$f < \frac{\lambda_3}{4} \frac{1}{\sqrt{n_F^2 - n_C^2}} \dots \dots \dots (4)$$

ただし、 $n_C = 1$ である。

これにより、波長 $\lambda_3$ の光信号は2aの部分でカットオフ条件になるので、漏洩モードとなって矢印4のように漏洩されて、光導波路から放射される。ただし、 $\lambda_2, \lambda_1$ の光信号が2aの部分

を導波するように、 $f_3$ を設定する。具体的には、

$$f_3 > \frac{\lambda_2}{4} \frac{1}{\sqrt{n_F^2 - n_C^2}} \cdots \cdots (5)$$

となるようにする。同じように、2bの部分の光導波路の幅 $f_2$ を、次式を満足するように設定しておく。

$$f_2 < \frac{\lambda_2}{4} \frac{1}{\sqrt{n_F^2 - n_C^2}} \cdots \cdots (6)$$

これにより、波長 $\lambda_2$ の光信号は2bの部分でカットオフになり、漏洩モードとなって光導波路から矢印5のように放射される。この場合も、 $\lambda_1$ の光信号は2bの部分で導波するように、

$$f_2 > \frac{\lambda_1}{4} \frac{1}{\sqrt{n_F^2 - n_C^2}} \cdots \cdots (7)$$

に選択する。次に2cの部分の光導波路の幅 $f_1$ も、次式を満足するように、設定する。

$$f_1 < \frac{\lambda_1}{4} \frac{1}{\sqrt{n_F^2 - n_C^2}} \cdots \cdots (8)$$

これにより、波長 $\lambda_1$ の光信号2cの部分でカットオフになり、漏洩モードとなって光導波路から

コア部を介して漏洩光を伝搬させることにより取り出される。第2図(b)は、拡散形光導波路である。コア部7は、中心から周辺に行くに従って屈折率が低下するように構成されており、光の漏洩をより簡単に行わせることができる。この場合の光の取り出しは、コア部7に接近させて分波光伝搬用のコア部を埋込むか、またはコア部7と同じように、拡散法により形成させたコア部を並設することによって行う。次に、第2図(c)は、装荷形導波路である。これは基板3(屈折率 $n_s$ )にクラッド部9を形成し、その上にコア部8(屈折率 $n_c$ ,  $n_c > n_s$ )を設けて構成する。次に、第2図(d)は、壁上形導波路である。基板3にコア部10が形成されている。

第3図は、本発明の第2の実施例を示す光分波器の構成図である。

なお、 $\lambda_1 \sim \lambda_3$ は、すべての実施例において、 $\lambda_n > \lambda_{n-1} > \cdots > \lambda_3 > \lambda_2 > \lambda_1$ の関係にある。第3図においては、基板3上にテーパ状の曲がり光導波路2dを設け、漏洩を促進させ

矢印6のように放射される。このようにして、光導波路を伝搬していた波長 $\lambda_3$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_1$ の光信号が、それぞれ2a, 2b, 2cの部分で順次分波される。従つて、2a, 2b, 2cの部分に半導体受光素子を配置しておけば、光分波器が構成される。また、受光素子の代りに半導体発光素子を配置しておけば、光合波器が構成される。さらに、半導体発光素子、受光素子を混在させれば、光合分波器になる。なお、第1図～第8図には、テーパ状光導波路の各実施例が示されているが、放物線分布型、直線状傾斜分布型、ホーン型のどの型にも適用できる(第10図参照)。

第2図は、本発明の実施例を示す各種形状の導波路の斜視図である。

光導波路の構成には、第1図のリッジ形以外に、第2図(a)～第2図(d)に示すような形状のものが使用できる。第2図(a)は、コア部2をクラッド部3の中に埋込んだ埋込形導波路である。分波した光信号は、コア部2に接近させて別のコア部(図示省略)を設け、この別個に設けられた

るようにすると同時に、受光素子11, 12, 13の間隔を十分にとれるように意図している。すなわち、テーパ状の曲がり光導波路にすることによつて、受光素子12に波長 $\lambda_3$ の光信号が漏れ込むのを抑制し、また受光素子13に波長 $\lambda_2$ の光信号が漏れ込むのを抑制することができる。なお、素子11, 12, 13のすべて、あるいはそのうちの一部は、半導体発光素子に置替えることもできる。受光素子11, 12, 13の間隔をあけることは、光および電氣的漏洩減衰量を大きくとれる点でも有利である。また、受光素子のサイズを考慮した場合にも、各素子の間隔をあけた方が有利である。

第4図は、本発明の第3の実施例を示す光分波器の構成図である。

第4図では、分波光を互いに反対側に取り出す場合の例を示す。すなわち、光導波路2eを非対称構造にして、波長 $\lambda_2$ の光信号は、光導波路の部分14の上側から、波長 $\lambda_1$ の光信号は、光導波路の部分15の下側から、それぞれ取り出す。

このため、光導波路は2dは、部分14の上側で下方に曲がつた構造を持ち、部分15の下側で上方に曲がつた構造を持つてゐる。このように、互いに反対側から光信号を取り出せば、 $\lambda_1$ と $\lambda_2$ の光信号間の光および電氣的漏洩減衰量を大きくとることが可能である。また、受光素子（あるいは、発光素子）の配置スペースを十分にとることができ、発光素子駆動回路および受光素子受信回路を同一基板上に集積化することができる。

第5図は、本発明の第4の実施例を示すもので、漏洩光をより簡単に取り出せるようにした光分波器の構成図である。

光導波路2e（屈折率 $n_e$ ）に接して、光導波路2g（屈折率 $n_g$ ）、光導波路2h（屈折率 $n_h$ ）を設け、矢印5、6方向へのカットオフされた波長 $\lambda_2$ 、 $\lambda_1$ の光信号を取り出し易くしたものである。ここで、 $n_g$ 、 $n_h$ は、 $n_e$ とほぼ等しい値（ただし、 $n_e > n_g$ 、 $n_h$ ）であるほど、光の取り出しが有効となる。なお、12、13は受光素子である。

化していると、カットオフ条件によつて光導波路から放射される漏洩光は、光導波路の厚みが薄い方向に伝搬し、光導波路から矢印4、5、6のように放射される。勿論、光導波路の幅と波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ との関係が、前式(4)～(8)を満足するように構成しておくことにより、それぞれ矢印4、5、6のように別個に $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ の波長の光信号が漏洩モードで取り出される。このような構造は、分波光を一方の側（図では上側）からのみ取り出す場合に有効である。第7図(b)に示すように、厚い方から薄い方に傾斜している部分のうち、先端の薄い部分の厚さをあまり薄くすると、挿入損失が増加するので、単一モード光ファイバ伝送条件の範囲内から厚みの寸法を選ぶ。

第8図は、本発明の第7実施例を示す光分波器の構成図であつて、第7図の変形例を示すものである。すなわち、テーパー状光導波路2j（屈折率 $n_j$ ）の上に薄膜2k（屈折率 $n_k$ 、ただし、 $n_k$ は $n_j$ に極めて近い値であるが、 $n_k < n_j$ の関係にある）を設けることにより、矢印4、5の

第6図は、本発明の第5の実施例を示す光分波器の構成図であつて、受光素子の前にレンズ16、17を設けた場合を示している。これらのレンズ16、17を介して漏洩された光信号を受光素子11、12に取り込む。これによつて、漏洩光を受光素子11、12に効率よく結合させることができる。また、第6図においては、双方向用に構成されており、矢印1の方向からは波長 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ の光信号が光導波路2i内に入射し、矢印18の方向からは、波長 $\lambda_1$ の発光素子の光信号が光導波路2iに入射し、矢印19の方向に出ていく。すなわち、端面20に光ファイバ（単一モード）を接続しておけば、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ の光信号が上記光ファイバ内を波長多重双方向伝送されることになる。

第7図は、本発明の第6の実施例を示す光分波器の構成図であつて、テーパー状光導波路2jの厚みを傾斜状に変化させた場合を示す。第7図(a)は上面図、第7図(b)は右側面図である。(b)に示すように、光導波路2jの厚みが傾斜状に変

方向への分波光の伝搬を促進させ、受光素子11、12へ導くようにしたものである。なお、第7図および第8図において、光導波路の厚みに傾斜を設ける代りに、光導波路の屈折率 $n$ に上記のような傾斜を設けるようにしても、ほぼ同じ特性を期待できる。

以上、各実施例について、種々の形状のものについて説明したが、本発明はこれらの実施例に限定はされない。例えば、第1図から第8図までのものを種々組合せた構成にすることができることは勿論である。すなわち、テーパー状光導波路の形状分布は、前述のように、放物線分布型、直線状傾斜分布型、ホーン状分布型（第10図参照）等の導波路以外にも、これらの組合せや、さらには曲げ導波路（第3図、第4図、第5図参照）、厚み変化型導波路（第7図、第8図参照）、屈折率分布型導波路（第8図参照）等の種々の組合せを用いることができる。また、これらのテーパー状光導波路は、連続的および不連続的な形状変化（例えば、連続的なものとしては第1図、第3図参照、

不連続的なものとしては第4図～第7図参照)であつてもよい。また、対称構造でも、非対称構造でもよいことは勿論である(対称構造としては、第1図、第10図参照、非対称構造としては、第3図～第8図参照)。また、第6図に示すレンズ16, 17には、フレネルレンズを用いることができる。さらに、光スイッチ、光変調素子、電気回路等も、光導波路に形成することができる。なお、波長多重数は、2波以上に適用することができ、片方向、双方向伝送のいずれにも適用することができる。

#### [発明の効果]

以上説明したように、本発明によれば、光導波路型の光分波器、光合波器、光合分波器、さらには半導体発光/受光素子、光スイッチ等を内蔵した光デバイスを、1チップでモノリシックに構成できるので、簡易化、経済化を計ることができ、かつ調整箇所がないため、量産による大幅なコストダウンを期待することができる。さらに、電気回路も光導波路上に集積すれば、半導体集積回路

と同等なコスト、歩留りを期待することができる。

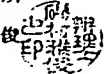
#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の第1の実施例を示す光分波器の構造図、第2図は本発明の光導波路の構造、形状を示す図、第3図から第8図まではそれぞれ本発明の第2～第7実施例を示す光分波器の構成図、第9図は光ファイバの光伝搬の原理を示す図、第10図は本発明の光導波路の基本的構成図である。

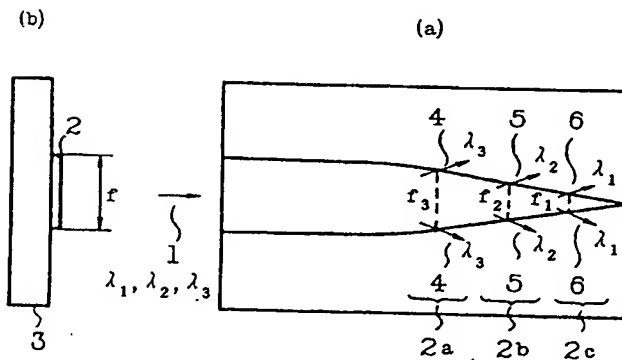
1: 光導波路への光の入射方向、2, 2a～2k: 光導波路、コア部、3: 基板、9: クラッド部、11～13: 受光素子または発光素子、16, 17: レンズ、7, 8, 10, 14, 15: 光導波路の一部。

特許出願人 株式会社日立製作所

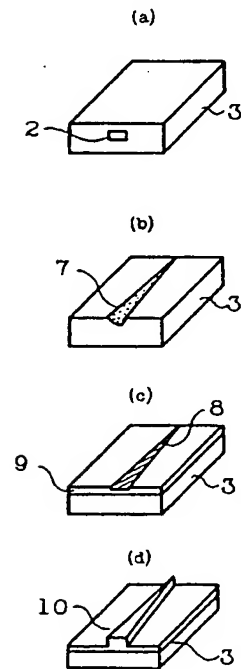
代理人 弁理士 磯村 雅 俊



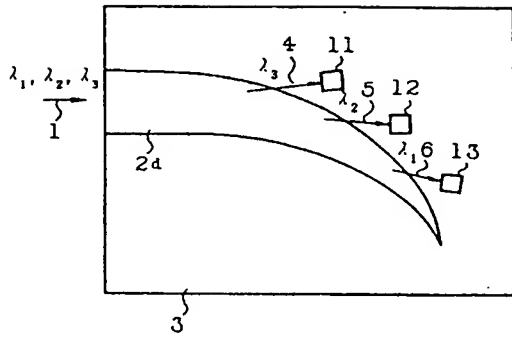
第 1 図



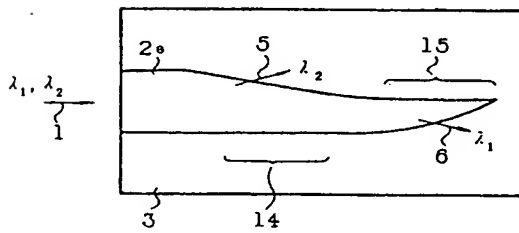
第 2 図



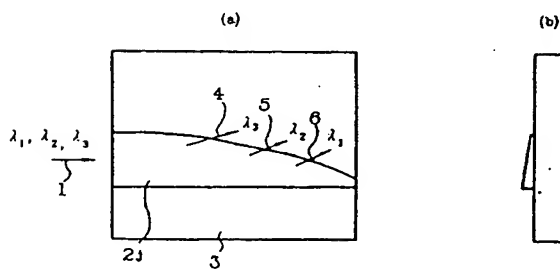
第 3 図



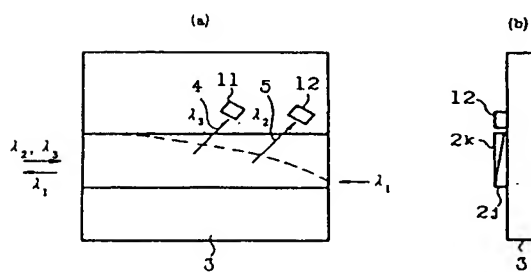
第 4 図



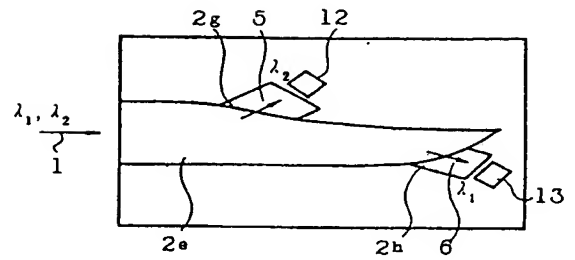
第 7 図



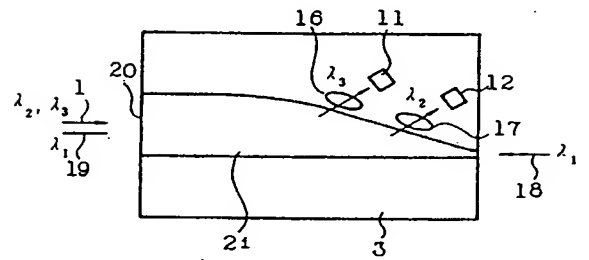
第 8 図



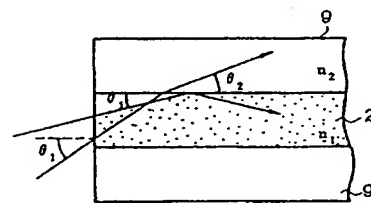
第 5 図



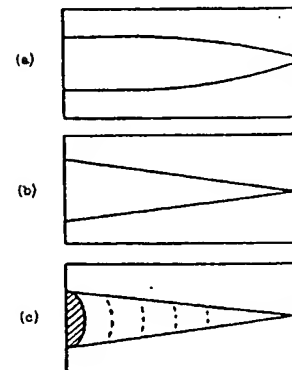
第 6 図



第 9 図



第 10 図





第 1 頁の続き

⑫発 明 者 松 村 宏 善 国分寺市東恋ヶ窪 1 丁目 280 番地 株式会社日立製作所中  
央研究所内